



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113532520 A

(43) 申请公布日 2021.10.22

(21) 申请号 202110760769.3

(22) 申请日 2021.07.06

(71) 申请人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

(72) 发明人 刘富 田涵 侯涛 韩志武 康冰
刘云 赵宇锋 王跃桥 刘美赫

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事务
所(普通合伙) 44268

代理人 朱阳波

(51) Int. Cl.

G01D 21/02 (2006.01)

G01D 5/16 (2006.01)

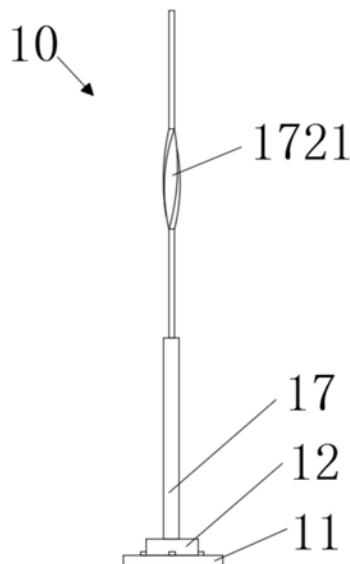
权利要求书2页 说明书13页 附图7页

(54) 发明名称

矢量传感器、矢量传感装置以及矢量传感器的制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种矢量传感器、矢量传感装置以及矢量传感器的制备方法,其中,矢量传感器包括底座、类内部毛窝、类感知组织、第一电极、第二电极、第三电极、仿生蛊毛杆和类弹性连接膜,所述类内部毛窝设于所述底座上,所述类内部毛窝的中间位置形成容纳腔;所述类感知组织设于所述底座上,位于所述容纳腔内;所述第一电极、所述第二电极和所述第三电极均设置于所述底座上,所述第一电极和所述第二电极与所述类感知组织的侧壁连接,所述第三电极位于所述类感知组织的中心位置;所述仿生蛊毛杆设于所述类感知组织上,可在所述类感知组织上偏转摆动;所述类弹性连接膜设于所述容纳腔内,一端固定在所述底座上,另一端固定在所述仿生蛊毛杆上。



1. 一种矢量传感器,其特征在于,包括:
底座;
类内部毛窝,设于所述底座上,所述类内部毛窝的中间位置形成容纳腔;
类感知组织,设于所述底座上,位于所述容纳腔内;
第一电极、第二电极和第三电极,均设置于所述底座上,所述第一电极和所述第二电极与所述类感知组织的侧壁连接,所述第三电极位于所述类感知组织的中心位置;
仿生蛊毛杆,设于所述类感知组织上,所述仿生蛊毛杆可在所述类感知组织上偏转摆动;以及
类弹性连接膜,设于所述容纳腔内,一端固定在所述底座上,另一端固定在所述仿生蛊毛杆上。
2. 根据权利要求1所述的矢量传感器,其特征在于,所述仿生蛊毛杆包括:
基部,与所述类感知组织连接;
杆部,凸出于所述基部,向背离所述类感知组织的方向延伸;且所述杆部上设有扭曲结构。
3. 根据权利要求2所述的矢量传感器,其特征在于,所述扭曲结构的偏转扭曲度为 0° - 180° ;和/或
所述扭曲结构的横截面形状为椭圆形。
4. 一种矢量传感装置,其特征在于,包括如权利要求1至3任意一项中所述的矢量传感器。
5. 根据权利要求4所述的矢量传感装置,其特征在于,所述矢量传感装置包括:
固定盘,所述固定盘上设有电路;
至少两个第一传感器,设于所述固定盘上,所述第一传感器与所述电路电连接,至少两个所述第一传感器的连线方向为第一方向;
至少两个第二传感器,设于所述固定盘上,所述第二传感器与所述电路电连接,至少两个所述第二传感器的连线方向为第二方向,且所述第二方向与所述第一方向之间的夹角大于 0° ;以及
保护罩,设于所述固定盘上,所述保护罩上沿所述第一方向设有第一导流气孔,沿所述第二方向设有第二导流气孔;
其中,所述第一传感器为所述矢量传感器;和/或,所述第二传感器为所述矢量传感器。
6. 根据权利要求5所述的矢量传感装置,其特征在于,所述电路包括第一惠斯通电桥和第二惠斯通电桥,所述第一传感器与所述第一惠斯通电桥电连接;所述第二传感器与所述第二惠斯通电桥电连接。
7. 根据权利要求6所述的矢量传感装置,其特征在于,所述第一惠斯通电桥与所述第二惠斯通电桥共用一个电桥正极端头和一个电桥接地端头。
8. 根据权利要求5所述的矢量传感装置,其特征在于,所述矢量传感装置还包括加热环,所述加热环设置在所述固定盘上,且所述加热环围绕在所述电路的外侧设置。
9. 一种矢量传感器的制备方法,其特征在于,包括:
提供一底部设有电极开孔的底座,以所述底座为衬底,通过微精密3D打印技术制造类内部毛窝;

在所述电极开孔内安装上第一电极、第二电极和第三电极；

使用微精密3D打印技术制造出仿生虫毛杆，再将所述仿生虫毛杆安装到所述底座上，通过微浇注技术向所述仿生虫毛杆与所述底座之间浇注类感知组织液态胶，制成类感知组织；

通过微浇注技术在所述类内部毛窝与所述仿生虫毛杆之间浇注类弹性连接膜液态胶，直至完全填充所述类内部毛窝，制成类弹性连接膜。

10. 根据权利要求9所述的矢量传感器的制备方法，其特征在于，所述类感知组织液态胶由聚二甲基硅氧烷和固化剂按10:1的比例进行调配，然后在其中加入足量的碳纳米管，并且混合均匀形成；

所述类弹性连接膜液态胶由聚二甲基硅氧烷和固化剂按5:2的比例进行调配形成。

矢量传感器、矢量传感装置以及矢量传感器的制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及检测装置技术领域,特别是涉及矢量传感器、矢量传感装置以及矢量传感器的制备方法。

背景技术

[0002] 传感器作为检测设备,在各行各业中的应用广泛,有光敏、声敏、压敏、温敏等等多种类型。比如在飞行器上就会设置有气流传感器,在潜艇上就会设置有水声传感器,在发热的设备上就会设置有热量传感器等等;就气流传感器来说,目前的气流传感器多用于检测气流的流量和流速。

[0003] 但是,在一些环境中,气流的流向也很重要,比如飞行器在天空中飞行时,往往难以确定绝对参照,所以需要获取飞行姿态,而目前的传感器不是一种矢量性质的传感装置,只能测得气流的流速或者流量,而不能获得传感器表面的气流方向信息,无法准确快速地获取位姿信号。

[0004] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

发明内容

[0005] 鉴于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供矢量传感器、矢量传感装置以及矢量传感器的制备方法,旨在解决传感器无法准确快速地获取位姿信号的问题。

[0006] 本发明的技术方案如下:

[0007] 一种矢量传感器,其中,所述矢量传感器包括底座、类内部毛窝、类感知组织、第一电极、第二电极、第三电极、仿生虫毛杆和类弹性连接膜,所述类内部毛窝设于所述底座上,所述类内部毛窝的中间位置形成容纳腔;所述类感知组织设于所述底座上,位于所述容纳腔内;所述第一电极、第二电极和所述第三电极均设置于所述底座上,所述第一电极和所述第二电极与所述类感知组织的侧壁连接,所述第三电极位于所述类感知组织的中心位置;所述仿生虫毛杆设于所述类感知组织上,所述仿生虫毛杆可在所述类感知组织上偏转摆动;所述类弹性连接膜设于所述容纳腔内,一端固定在所述底座上,另一端固定在所述仿生虫毛杆上。

[0008] 所述的矢量传感器,其中,所述仿生虫毛杆包括基部和杆部,所述基部与所述类感知组织连接;所述杆部凸出于所述基部,向背离所述类感知组织的方向延伸;且所述杆部上设有扭曲结构。

[0009] 所述的矢量传感器,其中,所述扭曲结构的偏转扭曲度为 0° - 180° ;和/或,所述扭曲结构的横截面形状为椭圆形。

[0010] 本申请还公开了一种矢量传感装置,其中,包括如上任一所述的矢量传感器。

[0011] 所述的矢量传感装置,其中,所述矢量传感装置包括固定盘、至少两个第一传感器、至少两个第二传感器和保护罩,所述固定盘上设有电路;至少两个所述第一传感器设于所述固定盘上,所述第一传感器与所述电路电连接,至少两个所述第一传感器的连线方向

为第一方向;至少两个所述第二传感器,设于所述固定盘上,所述第二传感器与所述电路电连接,至少两个所述第二传感器的连线方向为第二方向,且所述第二方向与所述第一方向之间的夹角大于 0° ;所述保护罩设于所述固定盘上,所述保护罩上沿所述第一方向设有第一导流气孔,沿所述第二方向设有第二导流气孔;所述第一传感器为所述矢量传感器;和/或,所述第二传感器为所述矢量传感器。

[0012] 所述的矢量传感装置,其中,所述电路包括第一惠斯通电桥和第二惠斯通电桥,所述第一传感器与所述第一惠斯通电桥电连接;所述第二传感器与所述第二惠斯通电桥电连接。

[0013] 所述的矢量传感装置,其中,所述第一惠斯通电桥与所述第二惠斯通电桥共用一个电桥正极端头和一个电桥接地端头。

[0014] 所述的矢量传感装置,其中,所述矢量传感装置还包括加热环,所述加热环设置在所述固定盘上,且所述加热环围绕在所述电路的外侧设置。

[0015] 本申请还公开了一种矢量传感器的制备方法,其中,包括:

[0016] 提供一底部设有电极开孔的底座,以所述底座为衬底,通过微精密3D打印技术制造类内部毛窝;

[0017] 在所述电极开孔内安装上第一电极、第二电极和第三电极;

[0018] 使用微精密3D打印技术制造出仿生虫毛杆,再将所述仿生虫毛杆安装到所述底座上,通过微浇注技术向所述仿生虫毛杆与所述底座之间浇注类感知组织液态胶,制成类感知组织;

[0019] 通过微浇注技术在所述类内部毛窝与所述仿生虫毛杆之间浇注类弹性连接膜液态胶,直至完全填充所述类内部毛窝,制成类弹性连接膜。

[0020] 所述的矢量传感器的制备方法,其中,所述类感知组织液态胶由聚二甲基硅氧烷和固化剂按10:1的比例进行调配,然后在其中加入足量的碳纳米管,并且混合均匀形成;

[0021] 所述类弹性连接膜液态胶由聚二甲基硅氧烷和固化剂按5:2的比例进行调配形成。

[0022] 与现有技术相比,本发明实施例具有以下优点:

[0023] 本申请公开的矢量传感器通过设置仿生虫毛杆感受气流的流量、流速和流向,仿生虫毛杆设置在类内部毛窝内,自然状态下由围绕在其侧壁的一类弹性连接膜固定,保持与底座相互垂直的状态,此时仿生虫毛杆只是平衡地设置在类感知组织上,没有产生侧倾,类感知组织也基本保持自然形状;当矢量传感器表面有气流流动时,会对仿生虫毛杆产生推力,推动仿生虫毛杆在类感知组织上偏转摆动,继而仿生虫毛杆将推力传导至与其相连的类感知组织上,类感知组织具有电阻,且第一电极与第三电极之间的电阻值、第二电极与第三电极之间的电阻值都会随着类感知组织的形状变化而变化,当仿生虫毛杆产生偏转摆动时,类感知组织受压产生形变,从而改变两个电阻值,整个过程就是气流流动最终导致类感知组织的阻值产生变化,即相当于将气流的矢量信号转换成类感知组织的电阻值的变化,使气流的矢量信号变得可测,只要通过外接电路连接类感知组织上的第一电极和第二电极就可以实时监控类感知组织的电阻值,也就是监控矢量传感器表面的气流流动情况,进而通过类感知组织的电阻值与仿生虫毛杆的偏转幅度、偏转方向对应关系,可以推算出气流的大小和方向信息,以迅速准确地获取位姿信号。

附图说明

[0024] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0025] 图1为本发明中矢量传感器的正视图;
- [0026] 图2为本发明中矢量传感器的俯视图;
- [0027] 图3为本发明中矢量传感器的轴向截面图;
- [0028] 图4为本发明中矢量传感器的有限元仿真方向性示意图;
- [0029] 图5为本发明中矢量传感器的方向选择性原理图;
- [0030] 图6为本发明中矢量传感器的俯视电阻转化示意图;
- [0031] 图7为本发明中矢量传感器的应变转化原理图;
- [0032] 图8为本发明中矢量传感器的电阻网络等效电路图;
- [0033] 图9为本发明中矢量传感装置的结构示意图;
- [0034] 图10为本发明中矢量传感装置的侧视图;
- [0035] 图11为本发明中矢量传感装置的俯视图;
- [0036] 图12为本发明中矢量传感装置的电路走线示意图;
- [0037] 图13为本发明中矢量传感装置的双惠斯通电路示意图;
- [0038] 图14为本发明中矢量传感器的制备方法的流程图。

[0039] 其中,10、矢量传感器;11、底座;12、类内部毛窝;13、类感知组织;14、第一电极;15、第二电极;16、第三电极;17、仿生虫毛杆;171、基部;172、杆部;1721、扭曲结构;18、类弹性连接膜;20、固定盘;30、第一传感器;40、第二传感器;50、保护罩;51、第一导流气孔;52、第二导流气孔;60、加热环。

具体实施方式

[0040] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整的描述,显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0041] 现有技术中,传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将感受到的信息,按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。传感器的特点包括:微型化、数字化、智能化、多功能化、系统化、网络化。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。传感器的存在和发展,让物体有了触觉、味觉和嗅觉等感官,让物体慢慢变得活了起来。

[0042] 传感器的种类繁多,随着科技的进步发展,通常根据其基本感知功能分为热敏元件、光敏元件、气敏元件、力敏元件、磁敏元件、湿敏元件、声敏元件、放射线敏感元件、色敏元件和味敏元件等十大类。不同的使用场景下,选择不同的传感器。

[0043] 比如,气敏元件可以用在飞行器上,飞行器在空中飞行时,会受到不稳定气流干扰。飞行器通过感知气流的变化,及时地调整自身飞行姿势,是保证其安全的必要技术。当

前,对于普通的飞行器,在面对可调飞行姿势范围内的气流干扰,可以在飞行器蒙皮上设置传感器,其通过自身位姿传感器及时获取位姿信息,可以较好地完成气流干扰的调整,保证飞行的平稳。而对于特种飞行的战斗机等,其姿势调整跨度极大、飞行难度极高、飞行速度极快,在如此苛刻的条件下,就要求位姿传感器具有极大的灵敏度、量程和测量精度,而往往这样的传感器造价相当昂贵,且对位姿的全方位测量,难以简单地实现。其次,飞行器对于气流的测量,大多只能通过流量或压差传感器实现,而这样的传感器也只能是测得气流的流速或者流量,不能获取气流的方向信息,不是一种矢量性质的气流传感装置,因此现有的传感器用在飞机蒙皮上存在无法直接准确地识别气流的矢量信息的问题。

[0044] 参阅图1、图2和图3,本发明申请的一实施例中,公开了一种矢量传感器10,其中,所述矢量传感器10包括底座11、类内部毛窝12、类感知组织13、第一电极14、第二电极15、第三电极16、仿生蛊毛杆17和类弹性连接膜18,所述类内部毛窝12设于所述底座11上,所述类内部毛窝12的中间位置形成容纳腔(附图中未标出);所述类感知组织13设于所述底座11上,位于所述容纳腔内;所述第一电极14、所述第二电极15和所述第三电极16均设置于所述底座11上,所述第一电极14和所述第二电极15与所述类感知组织13的侧壁连接,所述第三电极16位于所述类感知组织13的中心位置;所述仿生蛊毛杆17设于所述类感知组织13上,所述仿生蛊毛杆17可在所述类感知组织13上偏转摆动;所述类弹性连接膜18设于所述容纳腔内,一端固定在所述底座11上,另一端固定在所述仿生蛊毛杆17上。

[0045] 本申请公开的矢量传感器10通过设置仿生蛊毛杆17感受气流的流量、流速和流向,仿生蛊毛杆17设置在类内部毛窝12内,自然状态下由围绕在其侧壁的一类弹性连接膜18固定,保持与底座11相互垂直的状态,此时仿生蛊毛杆17只是平衡地设置在类感知组织13上,没有产生侧倾,类感知组织13也基本保持自然形状;当矢量传感器10表面有气流流动时,会对仿生蛊毛杆17产生推力,推动仿生蛊毛杆17在类感知组织13上偏转摆动,继而仿生蛊毛杆17将推力传导至与其相连的类感知组织13上,类感知组织13具有电阻,且第一电极14与第三电极16之间的电阻值、第二电极15与第三电极16之间的电阻值都会随着类感知组织13的形状变化而变化,当仿生蛊毛杆17产生偏转摆动时,类感知组织13受压产生形变,从而改变两个电阻值,通过处理两个电阻的变化值,可以计算得到仿生蛊毛杆17的空间偏转角;整个过程就是气流流动最终导致类感知组织13的阻值产生变化,即相当于将气流的矢量信号转换成类感知组织13的电阻值的变化,使气流的矢量信号变得可测,只要通过外接电路连接类感知组织13上的第一电极14和第二电极15就可以实时监控类感知组织13的电阻值,也就是监控矢量传感器10表面的气流流动情况,进而通过类感知组织13的电阻值与仿生蛊毛杆17的偏转幅度、偏转方向对应关系,可以推算出气流的大小和方向信息,以迅速准确地获取位姿信号。

[0046] 如图3所示,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述底座11上正对所述类感知组织13的中心位置设有电极通道(附图中未标出),所述第三电极16设置在所述电极通道内。将第三电极16穿过底座11从底座11的另一侧连接导线,方便走线,不会影响类感知组织13的平整设置。

[0047] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述第一电极14和所述第三电极16的连线方向与所述第二电极15与所述第三电极16的连线方向相互垂直。因为矢量传感器10测量气流的方向就是通过第一电极14与第三电极16之间的电阻值的变化量,以及第二

电极15与第三电极16之间的电阻值的变化量综合来判断的,通过两个组织变化的多少可以转换推算出仿生蛊毛杆17偏转的方向以及幅度,使第一电极14和第三电极16的连线方向与第二电极15与第三电极16的连线方向相互垂直,则两个电阻值的变化可以看做是仿生蛊毛杆17沿X方向和Y方向的分力推动导致的,这两个分力相互之间不影响,方便计算,降低推算的复杂程度,提高计算结果的准确度。

[0048] 如图2所示,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述类感知组织13的形状为圆柱形,所述仿生蛊毛杆17在所述类感知组织13上的垂直投影位于所述类感知组织13的中心位置。圆柱形的类感知组织13从中心位置到任何方向的边缘位置距离都一样,可以使类感知组织13自然状态下第一电极14与第三电极16之间的电阻值、第二电极15与第三电极16之间的电阻值相同,在工作过程中只要计算两个电阻的变量大小就可以快速判断出仿生蛊毛杆17偏转的方向;而且第一电极14和第二电极15只要设置在类感知组织13的边缘部分,可以是任何方向,安装位置灵活。

[0049] 如图3所示,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述仿生蛊毛杆17包括基部171和杆部172,所述基部171与所述类感知组织13连接;所述杆部172凸出于所述基部171,向背离所述类感知组织13的方向延伸;且所述杆部172上设有扭曲结构1721。扭曲结构1721对不同方向的气流的偏转情况不同,使得所述矢量传感器10具有最佳运动平面和最差运动平面,因此矢量传感器10的结构具有各项异性,可以实现对特定方向气流的超感知。

[0050] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述扭曲结构1721的偏转扭曲度为 0° - 180° ;和/或,所述扭曲结构1721的横截面形状为椭圆形。杆部172的形状为圆柱形,扭曲结构1721的形状则设置为更加扁平的椭圆形,有利于在特定方向产生更大的风阻,进一步增强矢量传感器10的各向异性;扭曲结构1721通过扭转,使杆部172表面形成曲线气流通道,当特定方向的气流经过扭曲结构1721时会被引导快速经过杆部172表面,减小对杆部172的推力,设置偏转扭曲度为180度可以使扭曲结构1721表面的气流通道从一侧转向另一侧,气流通过时只是快速穿过扭曲结构1721,而方向不会改变,从而不会造成混流,防止仿生蛊毛杆17扰乱气流,避免影响传感器最后检测的气流矢量信号的准确性;杆部172上扭曲结构1721以上的部分和扭曲结构1721以下的部分处于同一平面上,气流在整个杆部172上产生的推力方向一致。

[0051] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述杆部172包括下段和上段,所述下段的半径大于所述上段的半径,且所述扭曲结构1721设于所述上段的中间位置。因为杆部172在使用过程中会反复偏转,所以设置下段更粗,防止断裂;另外下段是与类感知组织13连接的,偏转的时候偏转中心靠近类感知组织13,所以将扭曲结构1721设置在上段上,远离偏转中心,增长力臂,使扭曲结构1721上只要受到微弱的气流影响就能使类感知组织13产生明显的形变信号,从而增加传感器的灵敏度。

[0052] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述上段的横截面形状为椭圆形。整个上段都是矢量传感器10用来感知气流的,所以设置成椭圆形,有利于形成风阻,提高仿生蛊毛杆17的灵敏度,进而提高矢量传感器10的精度和准确度。

[0053] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述上段与所述下段的长度比为1-5;所述扭曲结构1721与所述上段的长度比为0.03-1。

[0054] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述基部171的形状为圆柱状,

且所述基部171朝向所述底座11的一侧设有凹槽,所述凹槽用于设置所述类感知组织13。本实施例中的类感知组织13是使用混合液干燥固化成型的,所以需要模具成型,在基部171上开设凹槽,以作为类感知组织13的容纳腔,可以方便制成;制备过程在可以先倒置仿生蛊毛杆17,将混合液注入到凹槽中,等到固化成型后再翻转安装到底座11上,这样类感知组织13与基部171的连接紧密,而且节省模具成本,快速完成制备。

[0055] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述类感知组织13为柔性的压阻式导电复合材料组织。例如所述类感知组织13采用柔性的聚二甲基硅氧烷(PDMS)和碳纳米管(CNT)导电复合材料。柔性的压阻式导电复合材料组织既具有导电性,又具有一定柔性,形状可以改变,所以其电阻值也可以在一定范围内变化。

[0056] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述类弹性连接膜18为超弹性膜。例如采用聚二甲基硅氧烷(PDMS)材料制备成的超弹性膜,具有足够的弹性,使仿生蛊毛杆17在不受气流推动时可以及时回位,保持与底座11垂直的状态。

[0057] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述第一电极14设置有至少两个,至少两个所述第一电极14相背离地设置于所述类感知组织13的两侧;所述第二电极15设置有至少两个,至少两个所述第二电极15相背离地设置于所述类感知组织13的两侧。设置多个第一电极14和多个第二电极15,增加矢量传感器10上的电路连接点,使矢量传感器10在使用过程中减少受到位置的影响,更加灵活地与外部的电路连接。例如,在本实施例的另一个实施方式中,所述第一电极14设有两个,所述第二电极15设有两个,交替分布在所述类感知组织13的侧壁上,形成平面十字电极。

[0058] 具体的,在本实施例的另一个实施方式中,所述仿生蛊毛杆17长为1200um;所述下段长450um,直径14um;所述上段长为750um;且所述上段与下段的长度比为3:5;所述上段的横截面设计为椭圆形,长轴为13um,短轴为5um,在等面积情况下,其由最大的方向选择性所确定;椭圆形长轴绕中心偏转一定角度,形成扭曲结构1721,偏转扭曲度为180度,扭曲结构1721被设计在上段的中部位置,扭曲结构1721长度为25um,其设计在仿生蛊毛杆17的最大偏转强度范围内,由最大的方向选择性和最大各项异性所确定。所述基部171等效为圆柱状结构,长30um,直径90um;基部171下缘具有圆柱状开槽,深15um,直径60um;所述类感知组织13填充在所述圆柱状开槽内,厚5um,直径100um;所述类弹性连接膜18厚度为15um;所述类内部毛窝12直径为160um。对所述的仿生蛊毛杆17进行有限元方向选择性的分析:

[0059] 如图4所示,在矢量传感器10上施加恒定流场,依次为0度/180度、45度/225度、90度/270度、135度/315度方向,测得仿生蛊毛杆17基部1715的应变响应;可以发现仿生蛊毛杆171在0度/180度具有最大的应变响应特性,在90度/270度具有最小应变响应特性。并且随着扭曲结构1721长度的减小,0度/180度的应变响应越来越大,90度/270度的应变响应越来越小,仿生蛊毛杆171的方向选择性也由“长椭圆形”变成膨胀的“8”字形。仿生蛊毛杆17基部1715的最大应变响应与最小应变响应的比值由1.625变成3.24,这表明仿生蛊毛杆171的响应灵敏性和方向选择性进一步提高。

[0060] 具体的,在本实施例的另一个实施方式中,所述仿生蛊毛杆17被等效为特殊的上段和下段,使得传感器的仿生蛊毛杆17具有各向异性,对于来自不同方向的气流加载,其具有明显的方向选择性,进而导致仿生蛊毛杆17的空间偏转角具有唯一的值与其对应。如图5所示,仿生蛊毛杆17具有最佳运动平面D04,对于这个方向的气流加载,仿生蛊毛杆17具有

更大的偏向性；对于其他任意方向的气流加载，仿生蛊毛杆17均具有沿最佳运动平面D04偏转的趋势，但由于该方向所具有的刚度与最佳运动平面D04不同，从而其偏转也会受到不同的约束；因此，其实际偏转平面D03不会和最佳运动平面D04重合。仿生蛊毛杆17在最差运动平面D01，具有最小的偏向性。如图5、图6和图7所示，仿生蛊毛杆17以基部171为转动中心，当受到外界的气流刺激，其发生偏转摆动，进而仿生蛊毛杆17基部171内的类感知组织13发生变形，使得类感知组织13的电阻值发生变化。

[0061] 对于各项同性的普通直杆结构，可以认为其空间偏转角与其受到的加载力矩具有线性关系，故可以计算得到空间偏转角 α ，

$$[0062] \quad \alpha = \frac{M}{S} \quad (1)$$

[0063] 其中， M 为加载力矩， S 为普通直杆结构的刚度。

[0064] 对于各项异性的扁平扭曲结构1721，由于不知道其实际偏转方向上的力矩和刚度，无法直接求出空间偏转角。在其最佳运动平面和最差运动平面，其空间偏转角的计算是不同的，

$$[0065] \quad \alpha_p = \frac{M_p}{S_p} \quad (2)$$

$$[0066] \quad \alpha_t = \frac{M_t}{S_t} \quad (3)$$

[0067] 其中， α_p, M_p, S_p 分别为最佳运动平面D04的空间偏转角、力矩和刚度， α_t, M_t, S_t 分别为最差运动平面D01的空间偏转角、力矩和刚度。

[0068] 当在如图5所示加载平面D02内施加气流加载时，气流加载会产生力矩作用，但由于各向异性的结构设置，其实际的偏转方向和加载方向不重合。为了求解空间偏转角 α ，可以将这个力矩沿最佳运动平面D04和最差运动平面D01分解，

$$[0069] \quad M_p = M * \cos \varphi_L \quad (4)$$

$$[0070] \quad M_t = M * \sin \varphi_L \quad (5)$$

[0071] 其中， φ_L 为加载方向角。

[0072] 由于上述的最佳运动平面D04和最差运动平面D01的配置，空间偏转角 α 可以认为是两个平面作用效果的矢量叠加，因此可以计算空间偏转角，

$$[0073] \quad \alpha = \sqrt{\alpha_p^2 + \alpha_t^2} \quad (6)$$

[0074] 将上述算式(2)到算式(5)代入算式(6)得到，

$$[0075] \quad \frac{\alpha S_p}{M} = \sqrt{\cos^2 \varphi_L + \left(\frac{S_p}{S_t}\right) \sin^2 \varphi_L} \quad (7)$$

[0076] 特别地，当 $S_p = S_t$ 时，扁平扭曲直杆成为普通直杆，各项同性；当 $S_p \ll S_t$ 时，扁平扭曲直杆各向异性，空间偏转角可近似计算，

$$[0077] \quad \alpha = \frac{M}{S_p} |\cos \varphi_L| \quad (8)$$

[0078] 在空间偏转角为 α 时,在偏转平面D03内传感器应变转化原理如图7所示。可以等效类感知组织13在转动中心两端受到的均布载荷为 $\pm q$,均布载荷大小相等,方向相反。仿生盍毛杆17偏转带动基部171转动,使得类感知组织13发生变形,并且类感知组织13的偏转角等于空间偏转角,于是,

$$[0079] \quad \theta = \frac{ql^3}{192} = \alpha \quad (9)$$

$$[0080] \quad \varepsilon = \frac{5ql^2}{1536EI} \quad (10)$$

[0081] 算式(9)中, θ 为类感知组织13的偏转角, q 为等效均布载荷大小, I 为类感知组织13的直径;算式(10)中, ε 、 E 、 I 分别为类感知组织13的应变、弹性系数和截面惯矩。联立两式,整理得应变为,

$$[0082] \quad \varepsilon = \frac{5}{8EI} * \alpha \quad (11)$$

[0083] 在本发明的另一个实施例中,当 $S_p \ll S_t$ 时,将算式(8)代入算式(11),得到类感知组织13的和加载力矩、加载方向角之间的关系,

$$[0084] \quad \varepsilon = \frac{5M}{8EIS_p} |\cos \varphi_L| \quad (12)$$

[0085] 在本发明的另一个实施例中,所述类感知组织13包括两部分,一部分设置在所述基部171内,另一部分设置在所述基部171在所述底座11上的投影的位置,两部分分为基部171内和基部171外类感知组织13,若类感知组织13的电阻率为 ρ ,可以计算类感知组织13的静态电阻为

$$[0086] \quad R_0 = R_{int} + R_{ext} = \frac{4\rho}{\pi} * \left(\frac{h}{l^2} + \frac{h_1}{l_1^2} \right) \quad (13)$$

[0087] 其中, h 、 R_{int} 分别为内部类感知组织13的高度、静态电阻, l_1 、 h_1 、 R_{ext} 分别为外部类感知组织13的直径、高度和静态电阻。由于外部类感知组织13的应变相较于内部类感知组织13的应变是极小的,所以在这里,不考虑外部感知组织的应变对电阻值变化的影响,因此,

$$[0088] \quad \pm \Delta R = \pm \frac{16\rho\varepsilon}{\pi l^2} = \pm \frac{10\rho M}{\pi E I l^3 S_p} |\cos \varphi_L| \quad (14)$$

[0089] 在算式(14)中, $\pm \Delta R$ 表示类感知组织13的电阻变化。

[0090] 由此,矢量传感器10将来自特定方向和大小的气流加载,转化为类感知组织13的电阻变化。

[0091] 在本发明的一个实施例中,由于第一电极14和第二电极15被设置为平面十字电极,第三电极16为底部电极,使得类感知组织13的应变电阻等效为如图8所示的电阻网络, R_1 和 R_2 分别表征最佳运动面的静态电阻, R_3 和 R_4 分别表征最差运动面的静态电阻, R 表示各电阻区之间的过渡电阻值。当有来自某一方向的气流加载作用到矢量传感器10上时,使得

矢量传感器10在其实际偏转面的电阻值发生变化,如图6所示,假设偏转平面与最差运动平面的夹角为 β ,因此,这种偏转平面内的电阻变化是可以由 R_2 和 R_3 或 R_1 和 R_4 的电阻变化进行表征,

$$[0092] \quad \pm \Delta R_t = \pm \frac{90^\circ - \beta}{90^\circ} * \Delta R$$

(15)

$$[0093] \quad \pm \Delta R_p = \pm \frac{\beta}{90^\circ} * \Delta R$$

(16)

[0094] 其中, $\pm \Delta R_t$ 表示 R_2 或 R_3 的电阻变化, $\pm \Delta R_p$ 表示 R_1 或 R_4 的电阻变化,由此,矢量传感器10将一个任意的气流矢量信号转变为两垂直方向上的电阻变化。

[0095] 参阅图8,作为本申请的另一实施例,公开了一种矢量传感装置,其中,包括如上任一所述的矢量传感器10。

[0096] 如图9、图10和图11所示,作为本实施例的一种实现方式,公开了所述矢量传感装置包括固定盘20、至少两个第一传感器30、至少两个第二传感器40和保护罩50,所述固定盘20上设有电路;至少两个所述第一传感器30设于所述固定盘20上,所述第一传感器30与所述电路电连接,至少两个所述第一传感器30的连线方向为第一方向;至少两个所述第二传感器40,设于所述固定盘20上,所述第二传感器与所述电路电连接,至少两个所述第二传感器40的连线方向为第二方向,且所述第二方向与所述第一方向之间的夹角大于 0° ;所述保护罩50设于所述固定盘20上,所述保护罩50上沿所述第一方向设有第一导流气孔51,沿所述第二方向设有第二导流气孔52;所述第一传感器30为所述矢量传感器10;和/或,所述第二传感器40为所述矢量传感器10。

[0097] 本申请公开的矢量传感装置通过将矢量传感器10设置在固定盘20上,使得矢量传感装置可以随时检测气流的流向和流量,从而可以感知传感器表面的气流状况,获得更加精准的位姿信息。比如应用在飞行器上,由于科技技术的进步,现在的民用飞机、战斗机、无人机等等飞行器的飞行速度得到不断提升,飞行器在空中也可以做出各种飞行姿态,但是飞行过程中,比如战斗机,由于飞行难度提高、姿势调整跨度大,所以机体表面的气流变化快,就需要传感器具有极高的灵敏度;本申请通过在飞机蒙皮上设置矢量传感装置,将多个矢量传感器10同时使用,且沿着第一方向上设置第一导流气孔51使气流进入保护罩50之后径直与第一传感器30表面接触,第二方向上设置第二导流气孔52使气流进入保护罩50之后径直与第二传感器40表面接触,从而使第一传感器30和第二传感器40都能正面感受气流的流速和流向,使矢量传感装置的测量结果更加精准;每个矢量传感器10都可以探测气流的流向和流量,第一方向与第二方向之间夹角大于 0° ,第一传感器30与第二传感器40探测的是不同方向的气流的矢量信号,通过收集耦合多个矢量传感器10的数据,可以迅速且准确地得到矢量传感装置上总体的气流的大小与方向,有利于快速获取飞行器的位姿信息。优选的第一方向与第二方向之间夹角为 90° ,这样第一传感器30与第二传感器40分别测量两个方向的气流矢量信号,互不干扰,而且将两个方向的测量结果合并推算就可以得出矢量传感装置上整体的气流矢量信号,计算方便。

[0098] 如图12和图13所示,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述电路包括第一惠斯通电桥和第二惠斯通电桥,所述第一传感器30与所述第一惠斯通电桥电连接;所述第

二传感器40与所述第二惠斯通电桥电连接。惠斯通电桥广泛应用于磁传感器和压力传感器等传感器中,它的差分结构可以用来提高器件的分辨率和灵敏度,在本实施例中惠斯通电桥可以准确测量到电路上电阻值的变化;以第一惠斯通电桥为例,在固定盘20上预先设置两个电桥电阻R01、R03,在固定盘20上安装好两个第一传感器30(本实施例中采用矢量传感器10)后,通过导线或者印刷电路将两个电桥电阻和两个第一传感器30电连接,并引出电桥正极端头和电桥接地端头,组成第一惠斯通电桥。第二惠斯通电桥的排布方式与第一惠斯通电桥的排布方式相同,只不过是第一传感器30换成第二传感器40,将两个电桥电阻换成R02和R04,并且设置的方向做出适应性改变。

[0099] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述第一惠斯通电桥与所述第二惠斯通电桥共用一个电桥正极端头和一个电桥接地端头。两个惠斯通电桥启动时可以同步启动,简化了矢量传感装置的操作步骤,做到一键启动,同时简化了固定盘20上的走线,节省成本。

[0100] 如图11所示,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述矢量传感装置还包括加热环60,所述加热环60设置在所述固定盘20上,且所述加热环60围绕在所述电路的外侧设置。当矢量传感装置应用在一些特殊环境中时,可能环境温度较低,容易影响其正常使用,例如将矢量传感装置安装在飞机上,飞行过程中,高空温度很低,而第一导流气孔51和第二导流气孔52注入的气流可能使固定盘20表面容易起霜,甚至结冰,可能影响第一传感器30和第二传感器40的正常工作,所以围绕电路的外侧,在固定盘20边缘设置加热环60,从而使矢量传感装置在工作时环境温度有一定保障,有利于克服困难环境,维持正常工作状态。具体的,所述加热环60可以为环形电热丝。

[0101] 如图12所示,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述固定盘20上设置有电热丝正极、电热丝接地、多个电桥电阻、电桥正极、电桥接地和多个输出电极。

[0102] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述第一导流气孔51和所述第二导流气孔52距离所述固定盘20的高度值与矢量传感器10上扭曲结构1721距离所述固定盘20的高度值相等。将第一导流气孔51和第二导流气孔52设置在于扭曲结构1721等高的地方,有利于减小气流从第一导流气孔51或第二导流气孔52进入保护罩50之后迅速接触扭曲结构1721,避免损失速度或者方向,使第一传感器30和第二传感器40测得的数据更加精准。

[0103] 参阅图9和图11,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述第一导流气孔51设有两个,两个所述第一导流气孔51沿所述第一方向设置于所述保护罩50上相互背离的两侧;所述第二导流气孔52设有两个,两个所述第二导流气孔52沿所述第二方向设置于所述保护罩50上相互背离的两侧。气流从一侧的第一导流气孔51或者第二导流气孔52流入后,不用改变方向,可以从另一侧的第一导流气孔51或者第二导流气孔52流出,及时排出保护罩50内的气体,防止保护罩50内气压过大,避免阻碍空气的进入。

[0104] 具体的,作为本实施例的另一种实现方式,公开了所述固定盘20上设有引线穿孔,所述引线穿孔用于从所述固定盘20背离第一传感器30或第二传感器40的一侧接入引线。通过从固定盘20的底部接入引线,使矢量传感装置在使用时引线排布隐蔽,不会受气流影响,电路可以维持长久的正常工作。具体的,在本实施例的另一个实施方式中,所述第一传感器30设有两个,所述第二传感器40设有两个,两个所述第一传感器30与两个所述第二传感器40交错对称排列在所述固定盘20的中心位置,共同构成正方形阵列,所述第一传感器30的

最佳运动平面D04与所述第一方向重合；所述第二传感器40的最佳运动平面D04与所述第二方向重合。

[0105] 具体的，所述保护罩50为半球薄壁壳型结构；所述第一导流气孔51和所述第二导流气孔52的高度值与所述保护罩50的半径值的比例为0.2-0.7。

[0106] 具体的，在本实施例的另一个实施方式中，公开了一种沿第一方向设置两个第一传感器30，沿第二方向设置两个第二传感器40，且所述第一传感器30和所述第二传感器40均为矢量传感器10的矢量传感装置。如图10、图11和图12所示，由惠斯通电桥原理知道，对于Y轴（沿第一方向为Y轴，沿第二方向为X轴）惠斯通电桥，Y轴输出电极 V_{11} 、 V_{12} 的电压为，

$$[0107] \quad V_{11} = \frac{SVCC}{1+R_{11}/R_{02}} \quad (17)$$

$$[0108] \quad V_{12} = \frac{SVCC}{1+R_{01}/R_{22}} \quad (18)$$

[0109] 其中， R_{11} 、 R_{22} 为第一传感器30 S_{11} 、 S_{22} 的电阻。相同地，对于X轴惠斯通电桥，X轴输出电极 V_{21} 、 V_{22} 的电压为，

$$[0110] \quad V_{21} = \frac{SVCC}{1+R_{33}/R_{04}} \quad (19)$$

$$[0111] \quad V_{22} = \frac{SVCC}{1+R_{03}/R_{44}} \quad (20)$$

[0112] 其中， R_{33} 、 R_{44} 为第二传感器40 S_{33} 、 S_{44} 的电阻。

[0113] 在本发明的一个实施例中，所述Y轴输出电极 V_{11} 、 V_{12} ，为第一惠斯通电桥输出的两端，其之间的电压差为 ΔU_1 ， $\Delta U_1 = V_{11} - V_{12}$ ，表征第一传感器30 S_{11} 、 S_{22} 感知的气流变化。当 $R_{11}/R_{02} = R_{01}/R_{22}$ 时， $\Delta U_1 = 0$ ，即所述Y轴输出电极 V_{11} 、 V_{12} 之间的电压差为零，没有气流作用到第一传感器30 S_{11} 、 S_{22} 上。当气流沿第一导流气孔51进入时， $\Delta U_1 > 0$ ；沿保护罩50上另一侧的第一导流气孔51进入时， $\Delta U_1 < 0$ ； $|\Delta U_1|$ 的大小则表征沿该方向进入的气流的大小。相同地，所述X轴输出电极 V_{21} 、 V_{22} ，为第二惠斯通电桥输出的两端，两端之间的电压差 ΔU_2 ， $\Delta U_2 = V_{21} - V_{22}$ ，表征第二传感器40 S_{33} 、 S_{44} 感知的气流变化。当 $R_{33}/R_{04} = R_{03}/R_{44}$ 时， $\Delta U_2 = 0$ ，即所述X轴输出电极 V_{21} 、 V_{22} 之间的电压差为零，没有气流作用到第二传感器40 S_{33} 、 S_{44} 上。当气流沿第二导流气孔52进入时， $\Delta U_2 > 0$ ；沿保护罩50上另一侧的第二导流气孔52进入时， $\Delta U_2 < 0$ ； $|\Delta U_2|$ 的大小则表征沿该方向进入的气流的大小。对于来自不同方向的气流，经过传感器保护罩50的分流之后，通过第一导流气孔51和第二导流气孔52流入传感装置，气流的方向和大小均能通过第一和第二惠斯通电桥的输出电压差进行表征。

[0114] 参阅图14，作为本申请的另一实施例，公开了一种矢量传感器10的制备方法，其中，包括：

[0115] S100、提供一底部设有电极开孔的底座11，以所述底座11为衬底，通过微精密3D打印技术制造类内部毛窝12；

[0116] S200、在所述电极开孔内安装上第一电极14、第二电极15和第三电极16；

[0117] S300、使用微精密3D打印技术制造出仿生蛊毛杆17，再将所述仿生蛊毛杆17安装到所述底座11上，通过微浇注技术向所述仿生蛊毛杆17与所述底座11之间浇注类感知组织13液态胶，制成类感知组织13；

[0118] S400、通过微浇注技术在所述类内部毛窝12与所述仿生蛊毛杆17之间浇注类弹性连接膜18液态胶,直至完全填充所述类内部毛窝12,制成类弹性连接膜18。

[0119] 通过3D打印的技术制造类内部毛窝12和仿生蛊毛杆17可以任意设计形状,一次成型结构,直接形成结构,加快制造速度。

[0120] 具体的,作为本实施例的一种实现方式,公开了所述类内部毛窝12和所述仿生蛊毛杆17均由聚乳酸(PLA)为原料3D打印制成。聚乳酸具有良好的机械性能和物理性能,方便加工,而且仿生效果好,又是生物降解材料,绿色环保。

[0121] 具体的,作为本实施例的一种实现方式,公开了所述类感知组织13液态胶由聚二甲基硅氧烷(PDMS)和固化剂按10:1的比例进行调配,然后在其中加入足量的碳纳米管(CNT),并且混合均匀形成;

[0122] 所述类弹性连接膜18液态胶由聚二甲基硅氧烷和固化剂按5:2的比例进行调配形成。

[0123] 具体的,作为本实施例的一种实现方式,公开了所述第一电极14、第二电极15和第三电极16均由微精密3D打印技术制备而成。

[0124] 具体的,作为本实施例的一种实现方式,公开了所述步骤S200,包括:

[0125] 将所述第一电极14、第二电极15和第三电极16安装到所述电极开孔内,对所述电极开孔灌胶,并固化。

[0126] 具体的,作为本实施例的一种实现方式,公开了所述类感知组织13包括内部类感知组织13和外部类感知组织13,所述通过微浇注技术向所述仿生蛊毛杆17与所述底座11之间浇注类感知组织13液态胶,制成类感知组织13的步骤,包括:

[0127] 在所述基部171上使用微浇注技术注入一定厚度的类感知组织13液态胶,固化形成内部类感知组织13;

[0128] 在所述底座11上与所述基部171相对的位置使用微浇注技术注入一定厚度的类感知组织13液态胶,固化形成外部类感知组织13;

[0129] 在所述内部类感知组织13上涂覆一层类感知组织13液态胶,将所述基部171对准所述外部类感知组织13安装,固化后所述内部类感知组织13与外部类感知组织13连接,得到连成一体的类感知组织13。

[0130] 综上所述,本申请公开了一种矢量传感器10,其中,所述矢量传感器10包括底座11、类内部毛窝12、类感知组织13、第一电极14、第二电极15、第三电极16、仿生蛊毛杆17和类弹性连接膜18,所述类内部毛窝12设于所述底座11上,所述类内部毛窝12的中间位置形成容纳腔;所述类感知组织13设于所述底座11上,位于所述容纳腔内;所述第一电极14所述、第二电极15和所述第三电极16均设置于所述底座11上,所述第一电极14和所述第二电极15与所述类感知组织13的侧壁连接,所述第三电极16位于所述类感知组织13的中心位置;所述仿生蛊毛杆17设于所述类感知组织13上,所述仿生蛊毛杆17可在所述类感知组织13上偏转摆动;所述类弹性连接膜18设于所述容纳腔内,一端固定在所述底座11上,另一端固定在所述仿生蛊毛杆17上。本申请公开的矢量传感器10通过设置仿生蛊毛杆17感受气流的流量、流速和流向,仿生蛊毛杆17设置在类内部毛窝12内,自然状态下由围绕在其侧壁类弹性连接膜18固定,保持与底座11相互垂直的状态,此时仿生蛊毛杆17只是平衡地设置在类感知组织13上,没有产生侧倾,类感知组织13也基本保持自然形状;当矢量传感器10表

面有气流流动时,会对仿生蛊毛杆17产生推力,推动仿生蛊毛杆17在类感知组织13上偏转摆动,继而仿生蛊毛杆17将推力传导至与其相连的类感知组织13上,类感知组织13具有电阻,且第一电极14与第三电极16之间的电阻值、第二电极15与第三电极16之间的电阻值都会随着类感知组织13的形状变化而变化,当仿生蛊毛杆17产生偏转摆动时,类感知组织13受压产生形变,从而改变两个电阻值,通过处理两个电阻的变化值,可以计算得到仿生蛊毛杆17的空间偏转角;整个过程就是气流流动最终导致类感知组织13的阻值产生变化,即相当于将气流的矢量信号转换成类感知组织13的电阻值的变化,使气流的矢量信号变得可测,只要通过外接电路连接类感知组织13上的第一电极14和第二电极15就可以实时监控类感知组织13的电阻值,也就是监控矢量传感器10表面的气流流动情况,进而通过类感知组织13的电阻值与仿生蛊毛杆17的偏转幅度、偏转方向对应关系,可以推算出气流的大小和方向信息,以迅速准确地获取位姿信号。

[0131] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互结合。

[0132] 需要说明的是,本发明以飞机为例对本发明的具体结构及工作原理进行介绍,但本发明的应用并不以飞机为限,也可以应用到其它类似物体的使用中。

[0133] 应当理解的是,本发明并不局限于上面已经描述并在附图中示出的精确结构,并且可以在不脱离其范围进行各种修改和改变。本发明的范围仅由所附的权利要求来限制。

[0134] 以上所述仅为本发明的实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

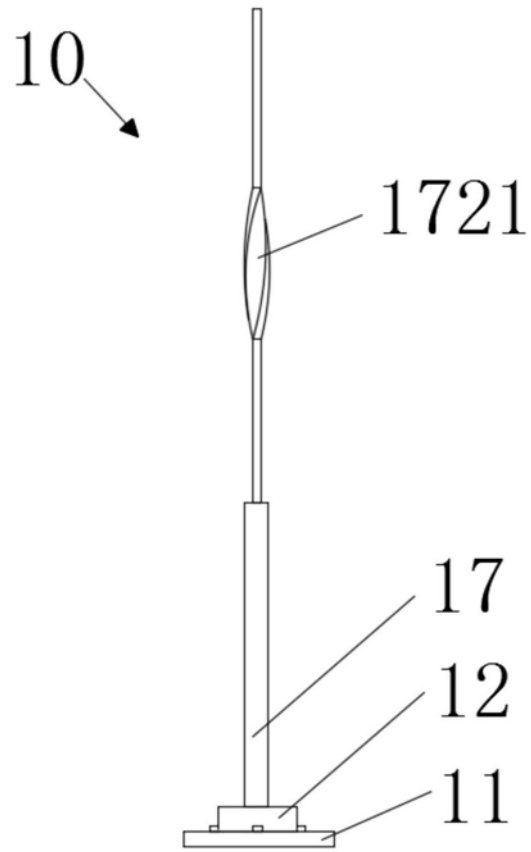


图1

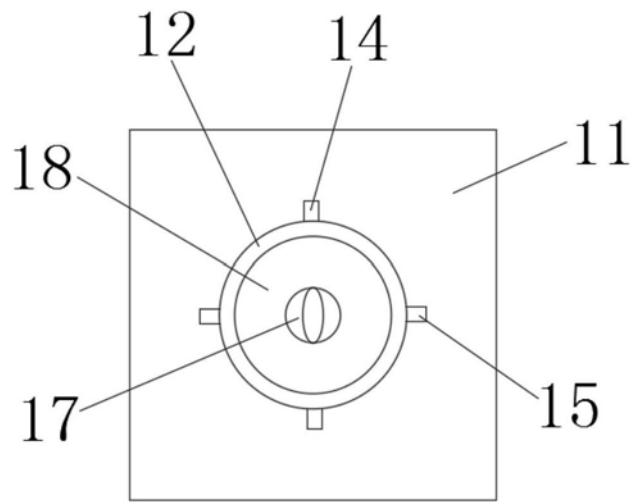


图2

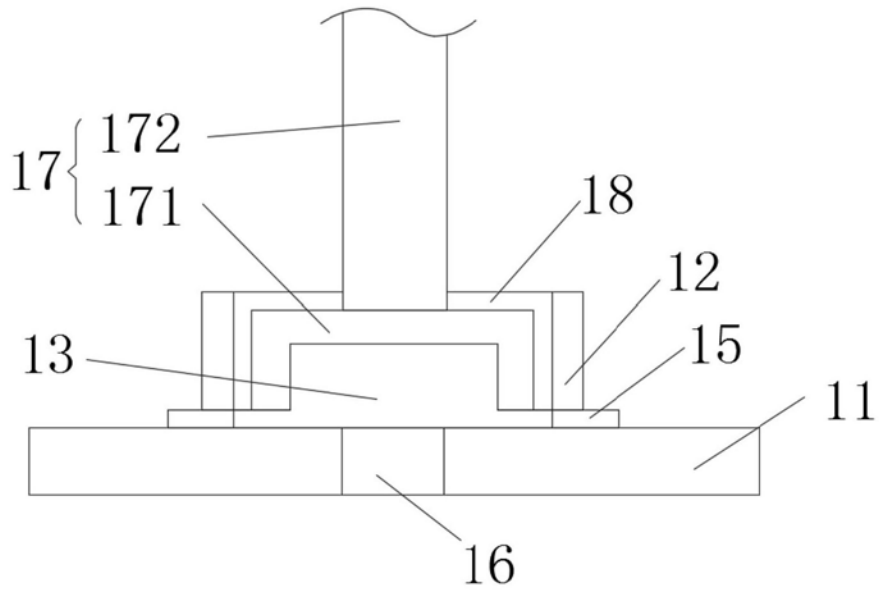


图3

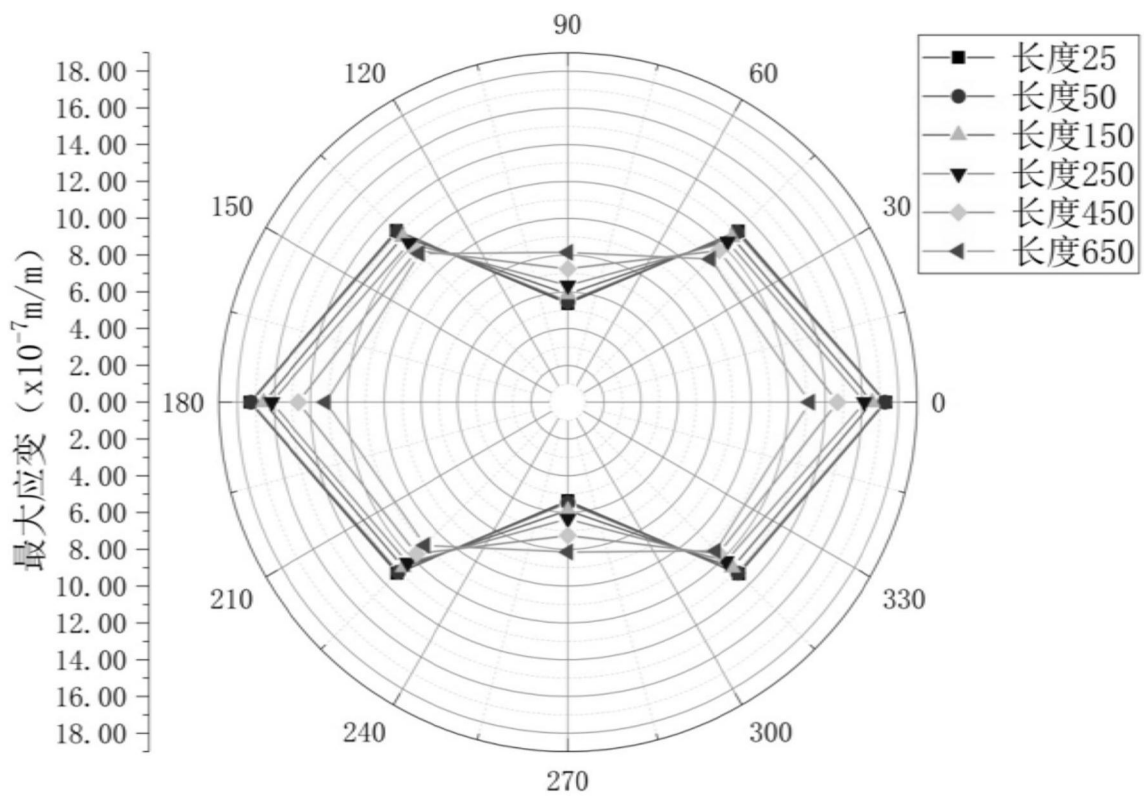


图4

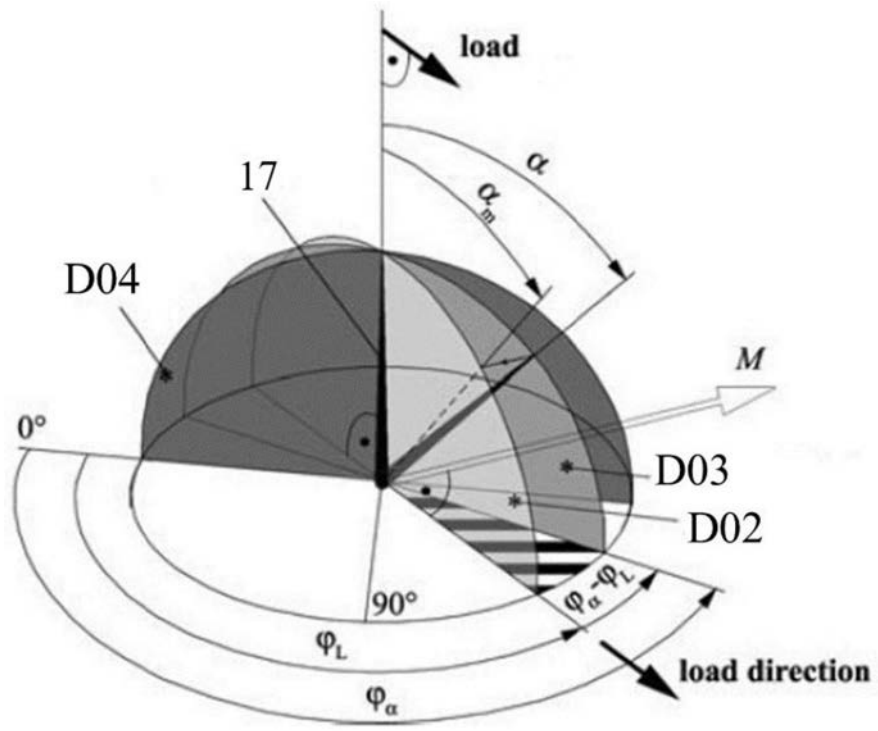


图5

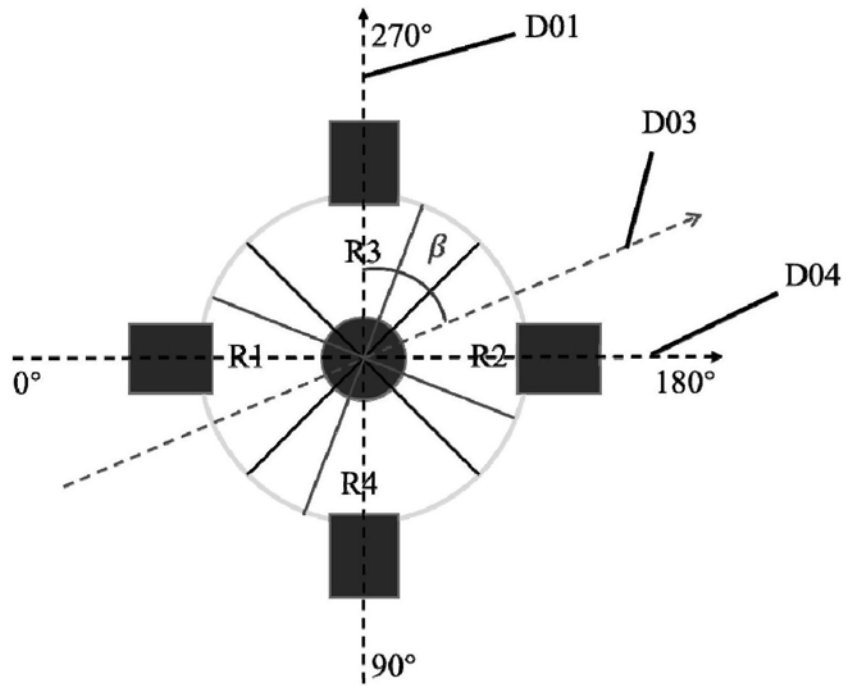


图6

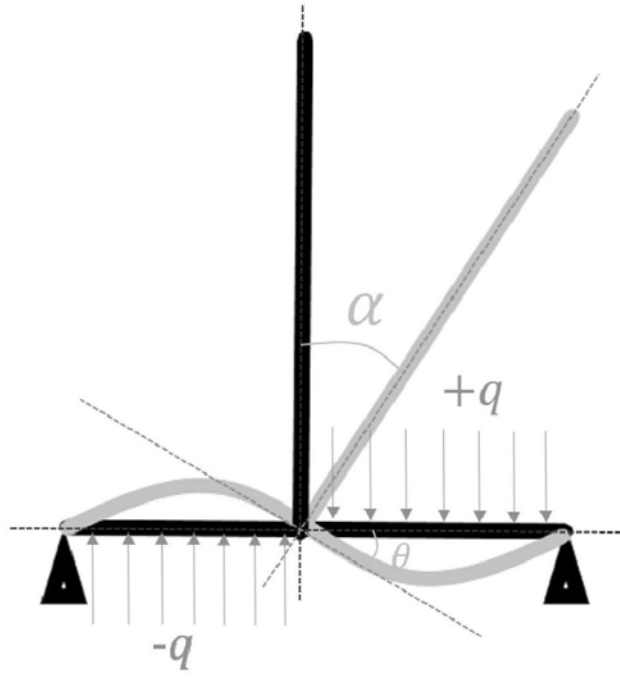


图7

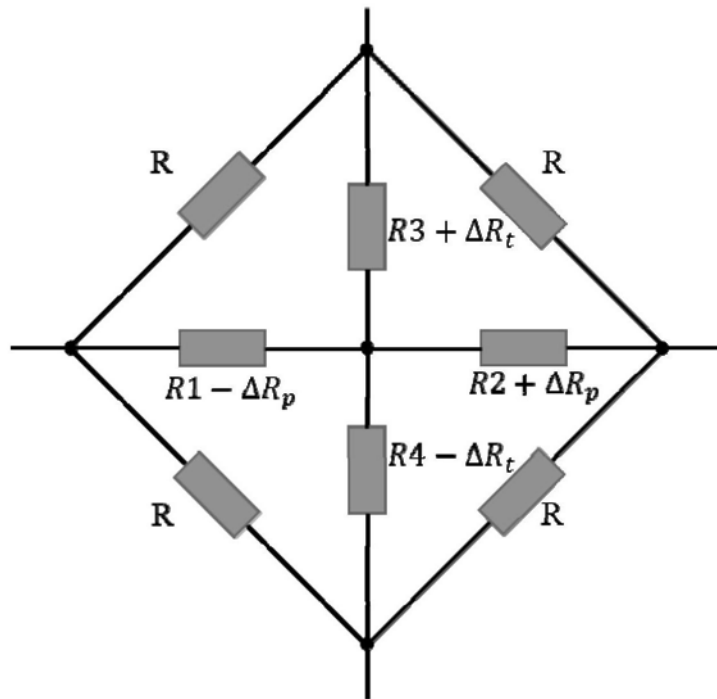


图8

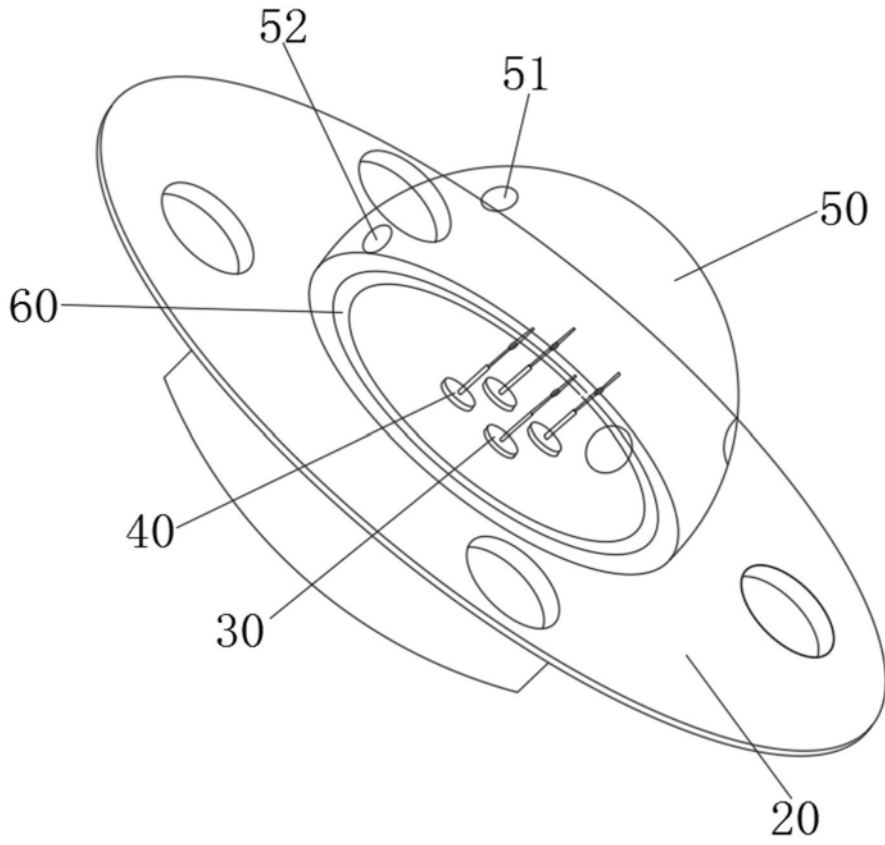


图9

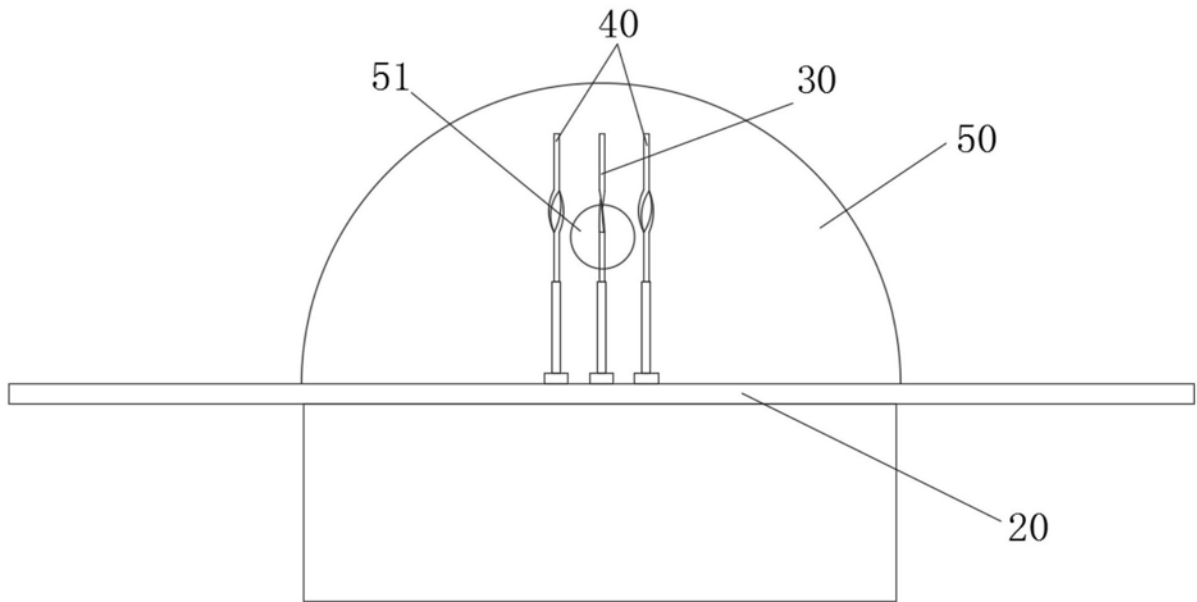


图10

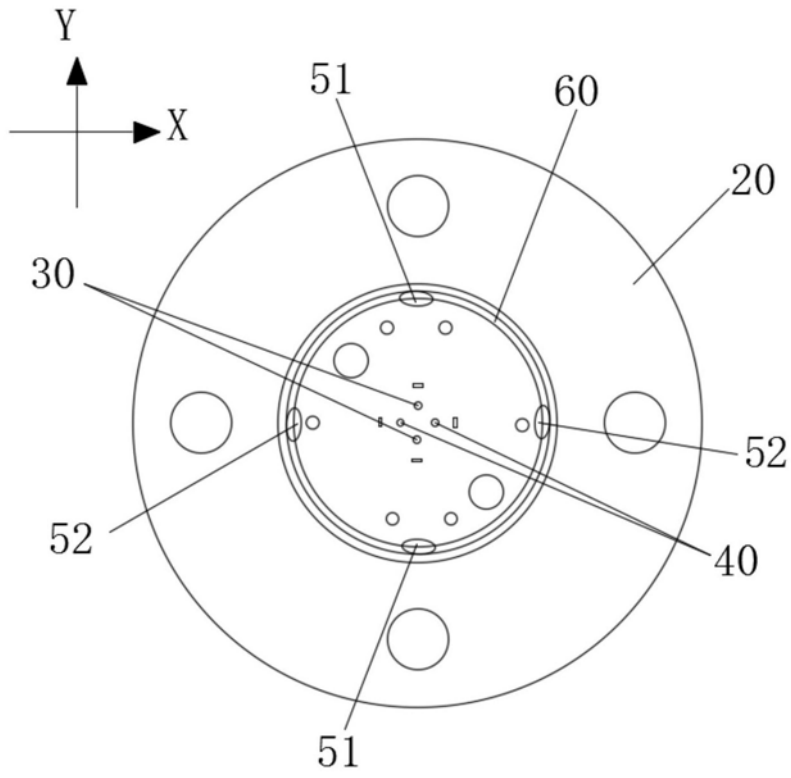


图11

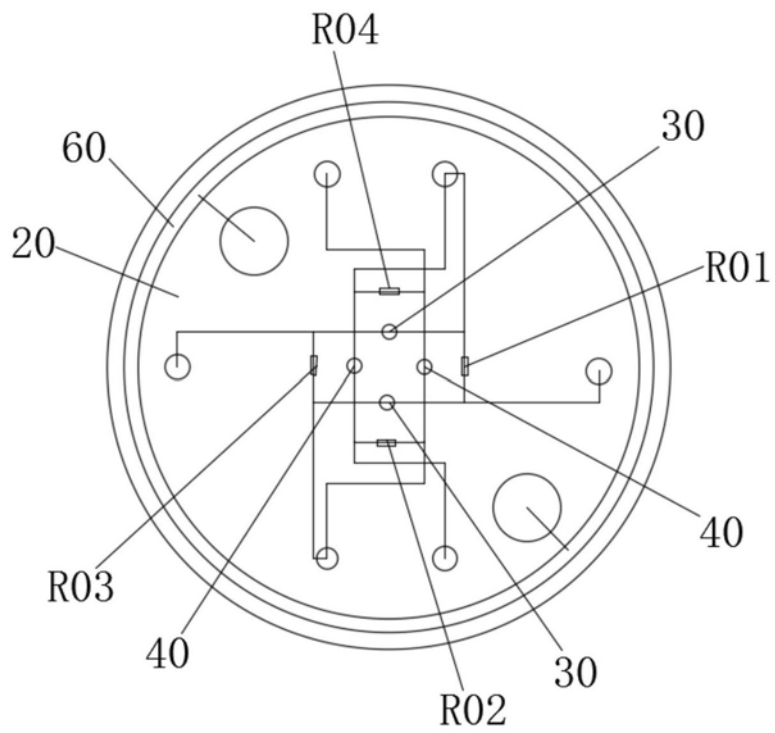


图12

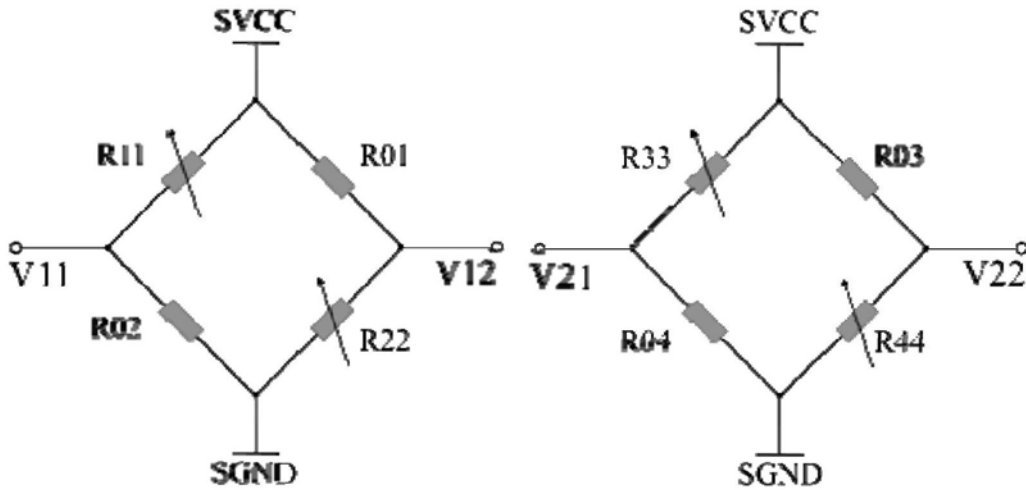


图13

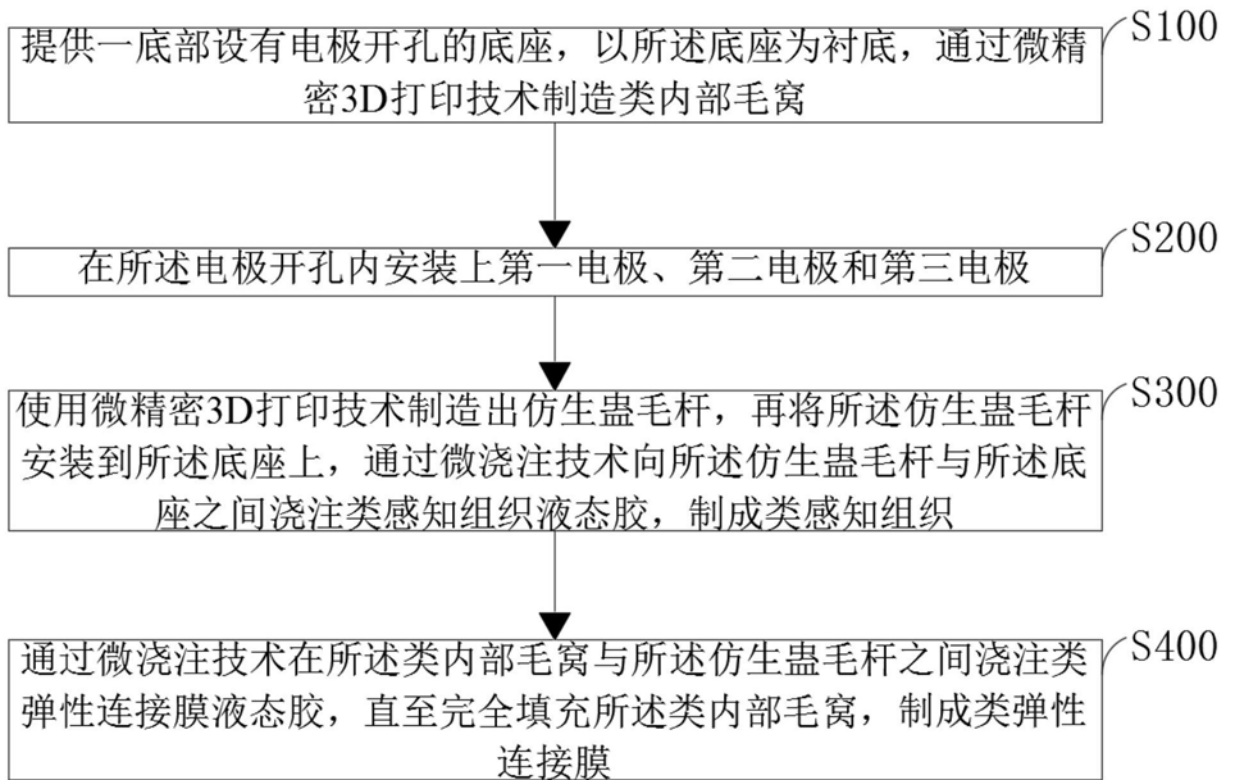


图14